

D1

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. April 2002 (25.04.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/33922 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H04L 27/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03914

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Oktober 2001 (16.10.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
PCT/DE00/03632
16. Oktober 2000 (16.10.2000) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: SCHWARTE, Rudolf [DE/DE]; Kreuztaler
Strasse 56, 57250 Netphen (DE).

(74) Anwalt: WEBER - SEIFFERT - LIEKE; Gustav-Frey-
tag-Strasse 25, 65189 Wiesbaden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,

CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ,
LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN,
MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI,
SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU,
ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR THE RECORDING AND PROCESSING OF SIGNAL WAVES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERFASSUNG UND VERARBEITUNG VON SIGNALWELLEN

(57) Abstract: The invention relates to a method for the recording and processing of the amplitude and phase of signal waves, whereby a signal source generates a modulated signal wave, which is altered on the way thereof through a transmission medium or through an object as a result of reflection and/or dispersion, received by a receiving device and directly demodulated therein, using a modulation signal which has a well-defined relationship to the modulation of the signal waves, by means of a modulation device without the signal wave carrier and recorded and analysed in relation to the amplitude of the modulated signal wave and the phase relationship of the modulation phase of the signal wave and of the modulation signal. In a sensor, sensitive to the signal waves, in a receiver device, wave energy particles, directly or indirectly generated by means of the signal wave energy in a wagging process, with a wave energy matching the modulation signal, are fed to at least two distinguishable groups of receiving elements on the sensor, recorded, optionally amplified and transmitted by at least one read-out output of an output unit, corresponding to at least one of the group of distinguishable receiving elements, in the form of a sum and/or correlation signal.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung und zur Verarbeitung der Amplitude und Phase von Signalwellen, wobei eine Signalquelle eine modulierte Signalwelle erzeugt, die auf ihrem Weg durch ein Überagungsmedium bzw. durch ein Objekt aufgrund von Reflexion und/oder Streuung verändert, von einer Empfangseinrichtung empfangen und dort mit einem Modulationssignal, das in einer wohldefinierten Beziehung zu der Modulation der Signalwelle steht, durch eine Modulationsvorrichtung ohne den Träger der Signalwelle direkt demoduliert und bezüglich der Amplitude der modulierten Signalwelle und der Phasenbeziehung der Modulationsphase der Signalwelle und des Modulationssignals erfasst und ausgewertet wird, wobei in einem auf die Signalwellen empfindlichen Sensor einer Empfangseinrichtung durch die Signalwellenenergie unmittelbar oder mittelbar erzeugt Wellenenergieanteile in einem Schaukelprozess mit einer Wellenenergieschaukel nach Massgabe des Modulationssignals auf mindestens zwei unterscheidbare Gruppen von Aufnahmeelementen des Sensors geleitet, erfasst, gegebenenfalls verstärkt und auf mindestens einem der Gruppen von Aufnahmeelementen entsprechenden Auslese-Ausgang einer Ausleseseinheit als Summen- und/oder Korrelationssignal ausgegeben werden.

Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung und Verarbeitung von Signalwellen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung und zur Verarbeitung der Amplitude und Phase von Signalwellen, wobei eine Signalquelle eine modulierte Signalwelle erzeugt, die auf ihrem Weg durch ein Übertragungsmedium bzw. durch ein Objekt aufgrund von Reflexion und/oder Streuung verändert, von einer Empfangseinrichtung empfangen und dort mit einem Modulationssignal, das in einer wohldefinierten Beziehung zu der Modulation der Signalwelle steht, durch eine Modulationsvorrichtung (PMD, MMD) ohne den Träger der Signalwelle direkt demoduliert und bezüglich der Amplitude der modulierten Signalwelle und der Phasenbeziehung der Modulationsphase der Signalwelle und des Modulationssignals erfaßt und ausgewertet wird, wobei in einem auf die Signalwelle empfindlichen Sensor einer Empfangseinrichtung durch die Signalwellenenergie unmittelbar oder mittelbar erzeugte Wellenenergieteilchen in einem Schaukelprozeß mit einer Wellenenergieschaukel nach Maßgabe des Modulationssignals auf mindestens zwei unterscheidbare Gruppen von Aufnahmeelementen des Sensors geleitet, erfaßt, gegebenenfalls verstärkt und auf mindestens einem den Gruppen von Aufnahmeelementen entsprechenden Auslese-Ausgang einer Ausleseeinheit als Summen- und/oder Korrelationssignal ausgegeben werden.

Ebenso betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Erfassung und zur Verarbeitung der Amplitude und Phase von Signalwellen, mit einer Signalquelle, die eine modulierte Signalwelle erzeugt, einer Empfangseinrichtung für die auf ihrem Weg durch ein Übertragungsmedium bzw. durch ein Objekt aufgrund von Reflexion und/oder Streuung veränderte Signalwelle, einer Modulationsvorrichtung der Empfangseinrichtung, welche mit einem Modulationssignal, das in einer wohldefinierten Beziehung zu der Modulation der Signalwelle steht, beaufschlagt wird, einem auf die Signalwellen empfindlichen Sensor der Empfangseinrichtung, in welchem durch die Signalwellenenergie unmittelbar oder mittelbar Wellenenergieteilchen erzeugt werden, wobei die Modulationsvorrichtung dafür ausgelegt ist, die Wellenenergieteilchen in einem Schaukelprozeß mit einer Wellenenergieschaukel nach Maßgabe des Modulationssignals auf mindestens zwei Gruppen von Aufnahmeelementen des Sensors zu leiten, und mit mindestens einem entsprechenden Auslese-Ausgang einer Ausleseeinheit, für die Ausgabe eines Summen- und/oder Korrelationssignals.

Ein entsprechendes Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung sind aus der DE 196 35 932.5 bekannt. Die durch die einfallende modulierte Lichtwelle im PMD generierten Photoladungen werden nach diesem Stand der Technik mit Hilfe mindestens zweier Photogates einem demodulierenden Schaukelprozeß ausgesetzt und im Gegentakt ausgelesen und ausgewertet, wodurch Aufwand und Größe des Empfängers gegenüber vorher bekannten Vorrichtungen ähnlicher Wirkung um Größenordnungen reduziert werden, was den Aufbau eines 3D-bildgebenden

Arrays aus vielen pixelartigen Empfängern ermöglicht. Trotz dieser außergewöhnlichen Fortschritte weisen derartige PMD-Pixelempänger Möglichkeiten zur Verbesserung auf.

Eine wichtige technische Aufgabenstellung in der Industrieproduktion und Automatisierung, im Straßenverkehr, in der Sicherheitstechnik und vielen weiteren Bereichen besteht darin, über die Ausbreitung von Signalwellen, d.h. berührungslos mittels Wellenausbreitung Informationen über transmittierte und reflektierte Signalwellen zu erlangen. Meßsysteme für derartige Aufgabenstellungen sind seit langem bekannt, insbesondere Laserradars für optische Signalwellen, Mikrowellenradars für Mikrowellen und Computer-Tomographen für Röntgenwellen. Für selbst erzeugten Signalwellen wird die Signalquelle in geeigneter Weise moduliert. Durch geeignete Demodulation der transmittierten und reflektierten Signalwellen können Objektinformationen gewonnen werden. Die zugehörigen Empfangseinrichtungen sind sehr aufwendig und enthalten im Allgemeinen nur einen Empfänger. Um dennoch viele Meßpunkte der Signalwelle zu vermessen, verwenden sie einen Scanner. Der Stand der Technik für optische Signalwellen wird z.B. in „Computer Vision“ Band I, Academic Press, ISBN 0-12-379771-3 auf S. 474ff beschrieben. Dort wird eine neuartige Lösung zur Vereinfachung der Phasen- bzw. Laufzeitmessung eines des optischen Empfängers beschrieben, der sog. Photomischdetektor oder „Photonic Mixer Device“ (PMD), der erstmals in der oben erwähnten DE 196 35 932.5 beschrieben wird.

Die für die inhärente Modulation des PMD notwendigen Photogates verursachen eine Dämpfung des einfallenden Lichts. Außerdem wird das modulierende elektrische Driftfeld nicht optimal in Flußrichtung der Photoladung eingebracht. Die Modulationsbandbreite der Modulation der Photostromverteilung mittels dieser Modulationsphotogates ist praktisch auf etwa 1 GHz beschränkt.

Gesucht sind neue Lösungen für Photomischdetektoren ohne Modulationsphotogates mit insbesondere höherer Modulationsbandbreite, höherer Genauigkeit und höherer Empfindlichkeit.

Dieser Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, die für die aufgeführten Signalwellen neuartige vorteilhafte PMD-Empfängerprinzipien verwenden, und PMD-Sensoren mit verbesserten Eigenschaften, erweiterten Anwendungsbereichen und neuen Leistungsmerkmalen vorzuschlagen.

Der gesuchte flächenhafte Detektor für elektromagnetische Wellen soll in der Lage sein, mit möglichst hoher Zeitauflösung und Bandbreite codierte bzw. modulierte Signalwellen in ihrer Phase und Amplitude zu detektieren. Er sollte zugleich die Beeinträchtigung der Detektionseigenschaften durch das Modulationssignal selbst und ihm verbundene konstruktive Nachteile vermeiden. Er soll inhärent mit gleichzeitig hoher Mischsteilheit und hoher Bandbreite und Empfindlichkeit demodulieren, dekodieren und wahlweise korrelieren. Dabei soll der korrelierte Signalwellenanteil der empfangenen Signalwelle extrem rauscharm und mit hoher Selektivität bestimmt werden,

während der nichtkorrelierte Signalwellenanteil, z.B. Hintergrundstrahlung, weitestgehend zu unterdrücken ist.

Zur Lösung der Aufgabenstellung wird hinsichtlich des Verfahrens vorgeschlagen, daß mindestens eine der Gruppen von Aufnahmeelementen direkt mit dem Modulationssignal beaufschlagt wird.

Hinsichtlich der Vorrichtung wird die der Erfindung zugrunde Aufgabe dadurch gelöst, daß mindestens eine der Gruppen von Aufnahmeelementen unmittelbar mit der Modulationsvorrichtung verbunden ist.

Der Detektor wird zweckmäßigerweise in eine Mehrzahl kooperierender Detektorstreifen (Aufnahmeelemente) aufgeteilt, die eine sog. Fingerstruktur bilden, wobei die Einleitung des für die Mischung erforderlichen Modulationssignals nicht durch eine zusätzliche modulierende Fingerstruktur erfolgt, sondern wobei die Aufnahmeelemente selbst zur Einbringung des mindestens einen Modulationssignals dienen. Insbesondere bei Photodetektoren ist die Realisierung in einer Fingerstruktur zur Erzielung einer hohen Schaltgeschwindigkeit durch kurze Wege der Photoladungen und für die geforderte Flexibilität der Pixelgröße eine besonders wirkungsvolle Maßnahme.

Auch bei Mikrowellensignalen ist aufgrund der sehr kleinen Wellenlänge eine Mehrzahl von Aufnahmeelementen erforderlich, um eine hinreichend große Querschnittsfläche mit entsprechend großer Empfangsleistung zu erhalten. Hierzu dienen i.a. rechteck- bzw. fingerförmige Patchantennen, die aufgrund der Ausrichtung nach der Polarisierung der Signalwellen eine Fingerstruktur bilden.

Als Signalwellen kommen nicht nur elektromagnetische Wellen des gesamten praktisch verfügbaren Spektrums vom Radiobereich bis in das ferne Ultraviolett, bei geeigneten Detektoren auch Röntgen oder Gammastrahlung in Betracht, sondern zum Beispiel auch akustische Wellen, insbesondere Ultraschallwellen.

Die „Wellenenergieteilchen“ sind im allgemeinen Elektronen und/oder Löcher. Sie können unmittelbar, zum Beispiel als Photoelektronen durch auf ein photoempfindliches Halbleitermaterial auftreffende Strahlung erzeugt werden oder mittelbar durch Ladungsverschiebung in Antennen durch z. B. Mikrowellen, oder in piezoelektrischen Materialien durch elektroakustische Wechselwirkung.

Aufnahmeelemente werden sind dementsprechend Elektroden bzw. Anschlüsse von Kondensatoren und/oder Dioden, die entsprechend der Ladungserzeugung und/oder -Verschiebung die

anfallenden Ladungsträger erfassen, die entweder als Ladungsmenge oder als entsprechender Strom registriert werden. Die Anordnung, Schaltung und Modulation der mindestens einen Gruppe von Aufnahmeelementen erfolgt dabei in der Weise, daß alle aufgrund von nicht modulierten und nicht zur Modulation des Aufnahmeelements korrelierten Signalwellen erzeugten Wellenenergieteilchen bei Integration des Meßsignals keinen Beitrag zum Meßsignal liefern, so daß der modulierte Signalanteil fast ausschließlich zum Messergebnis beiträgt.

Die Gruppen von Aufnahmeelementen bestehen mindestens aus je einem Aufnahmeelement, weisen vorzugsweise jedoch jeweils eine Vielzahl von Aufnahmeelementen auf.

Während die Detektorelektroden beim bekannten PMD normalerweise nur zum Auslesen des detektierten Signals dienen, liegt gemäß der vorliegenden Erfindung eine sog. Selbstmodulation (SM) des Detektors und damit ein sog. Selbstmodulations-PMD (SM-PMD) vor. Zur Ausführung dieser Selbstmodulation werden zwei Wege vorgeschlagen, die je nach Art des Detektors und der Meßaufgabe vorteilhaft sind.

Beim symmetrischen SM-PMD (SSM-PMD), wie in Fig. 1 am Beispiel eines SM-PMD in Schottky- bzw. MSM (Metal Semiconductor Metal)-Technologie dargestellt, werden die beiden mehrfach parallel geschalteten Elektrodenarten, z.B. Anode oder Kathode, in einer symmetrischen Anordnung vorzugsweise über Kapazitäten C_m des Koppelnetzwerkes KN1 und KN2 mit einem Gegentakt-Modulationssignal $\pm u_m(t)$ der Modulationsquelle M angesteuert und über ein abtastendes Auslesenetzwerk ausgelesen.

Beim asymmetrischen SM-PMD (ASM-PMD) wird nur einseitig die eine Elektrodenart z.B. A1 in Fig.2 aktiv moduliert, während die andere jeweils gegenüberliegende Elektrodenart A2 durch ein niederohmiges Auslesenetzwerk AN in Verbindung mit der Auswerteschaltung AS nur passiv am Mischprozeß beteiligt ist, wobei zugleich erreicht wird, daß die durch den Mischprozeß anfallenden Ladungen weitgehend ungestört vom Modulationssignal ausgelesen werden können.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung werden deutlich anhand der folgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform und der dazugehörigen Figuren. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Schnitt durch einen Teil eines erfindungsgemäßen planaren Photomischdetektors PMD mit symmetrischer Selbstmodulation und Auslese (SSM-PMD) in Schottkydioden-Technologie als Fingerstruktur mit abtastendem Auslesenetzwerk
- Fig. 2 einen Schnitt durch einen Teil eines erfindungsgemäßen planaren Photomischdetektors PMD in Schottky-Technologie mit asymmetrischer Selbstmodulation und Auslese (ASM-PMD) in Schottkydioden-Technik als Fingerstruktur

- Fig. 3 einen Schnitt durch einen Teil eines erfindungsgemäßen planaren Photomischdetektors symmetrischer Selbstmodulation in PN-Technologie mit Kathodenauslese der Photoelektronen und mit zusätzlicher Modulation der Abschirmelektroden ME als Abschirmung der Auslesedioden, ausgeführt in einer 2-Phasenmischung (0, 90° bzw. I/Q)
- Fig. 4 einen planaren Avalanche-Photomischdetektor, (APD-PMD) dargestellt im Querschnitt von streifenförmigen oder halbkugelförmigen Auslesedioden mit einer Lawineneffekt-Hochfeldzone, betrieben im Symmetrischen Selbst-Modulations-Modus
- Fig. 5 eine zweiseitige orthogonale Streifenstruktur für 4Phasen-PMD-Betrieb als sog. Doppel-PMD
- Fig. 6 ein MCP-PMD, ein Vakuum-PMD mit nachgeschalteter Mikrokanalplatten-Verstärkung
- Fig. 7 ein Blockschaltbild eines Mikrowellen-Misch-Detektors (MMD) mit einem modulierten Antiparallelen Schottky-Diodenpaar als Ladungsschaukel und mit Symmetrischer Selbst-Modulation und zusätzlicher Mischverstärkung (Aktiv-MMD).
- Fig. 8 eine Ausführung des MMD ohne Mischverstärkung mit einer asymmetrisch modulierten und ausgelesenen Patchantennenstruktur (Passiv-MMD)
- Fig. 9 ein Aktiv-MMD mit einer asymmetrisch modulierten und ausgelesenen Patchantennenstruktur mit einer Mischverstärkung mit einem doppelt ausgeführten Gegentakt-Mischer zur Kompensation der Modulationssignale am Ausgang.

Figur 1 zeigt ein symmetrisches SM-PMD (SSM-PMD), das konkret in Schottky- bzw. MSM (Metal Semiconductor Metal)-Technologie dargestellt ist. Dabei werden die beiden mehrfach parallel geschalteten Elektrodenarten, z.B. Anode oder Kathode, in einer symmetrischen Anordnung vorzugsweise über Kapazitäten C_m des Koppelnetzwerkes KN1 und KN2 mit einem Gegentakt-Modulationssignal $\pm u_m(t)$ der Modulationsquelle M angesteuert. Die einfallende Signalwelle 11, hier ein optisches Signal $P_{opt}(t)$, tritt zwischen den Ausleseelektroden, hier Metallelektroden als Anoden der Schottky-Übergänge zum photosensitiven Halbleitermaterial 3, in dasselbe (3) ein und erzeugt Photolöcher und Photoelektronen. Diese werden je nach der Phase bzw. Polarität des Modulationssignals der Elektrodenarten A1 bzw. A2 auch von diesen ausgelesen. Die relativ hohen Modulationsspannungen $\pm u_m(t)$ werden in dieser symmetrischen Schaltungsanordnung über Koppelnetzwerke KN1 und KN2 mit den gleichen Elektroden eingeleitet, mit denen auch die um viele Größenordnungen kleineren Misch- bzw. Korrelationssignale über die Auslesenetzwerke AN1 und AN2 und über eine nachgeschaltete Auswerteschaltung AS auch ausgelesen werden, um danach, insbesondere bzgl. der Phasen- und Laufzeitdifferenz zwischen der Modulation der Signalwelle 11 und dem Misch- bzw. dem Modulationssignal $u_m(t)$ ausgewertet zu werden. Diese zwangsläufige Verbindung stellt ein schwieriges Ausleseproblem dar, das die Anwendungsmöglichkeiten einschränkt.

Das Auslesenetzwerk AN trennt erfindungsgemäß das Modulationssignal und das Auslesesignal nicht über ein spektral trennendes Netzwerk, z.B. nicht über einen Tiefpaß, sondern über ein abtastendes Auslesenetzwerk AN in Verbindung mit der Auswerteschaltung AS, die über die Klemme 9 angesteuert werden kann. Diese liest nach einer geeigneten Integrationsdauer des Misch- und Korrelationsprozesses vorzugsweise unter Abschaltung der Modulation die bis dahin auf den Koppelkapazitäten C_m gespeicherten antisymmetrischen Ladungen kurzzeitig aus und führt sie vorzugsweise einem Differenzverstärkereingang der Auswerteschaltung AS zu, wobei unmittelbar danach die am Ausleseprozess beteiligte Schaltung vorzugsweise mit einer Reset-Schaltung in einen elektrischen Grundzustand für die nächste Messperiode zurückgesetzt wird.

Die erforderlichen Abtast- und Reset-Steuerungsvorgänge werden vorzugsweise von einer zentralen Systemsteuerung SST wie in Fig. 7 veranschaulicht und vorzugsweise für viele PMD-Pixel parallel durchgeführt. Durch das vorteilhafte abtastende Ausleseverfahren wird u.a. erreicht, dass der Frequenzbereich des Modulationssignals prinzipiell nicht durch die Grenzfrequenz des Tiefpasses, die zur hinreichenden Signaltrennung mehrere Größenordnungen unter der des Modulationssignals liegen muss, eingeschränkt ist.

Die Vermeidung des Tiefpasses ist weiterhin für die halbleitertechnische Integrationsmöglichkeit des Auslesenetzwerks zusammen mit der Auswerteschaltung von großer wirtschaftlicher Bedeutung, da die großen erforderlichen Widerstandswerte und Kapazitätswerte und ihre erforderliche Pixelfläche praktisch nicht wirtschaftlich als System-on-Chip zu integrieren sind. Darüber hinaus wird das Rauschen der hochohmigen Widerstände vermieden.

Beim Asymmetrischen SM-PMD (ASM-PMD) wird nur einseitig die eine Elektrodenart z.B. A1 in Fig. 2 aktiv moduliert, während die andere jeweils gegenüberliegende Elektrodenart A2 durch ein niederohmiges Auslesenetzwerk AN in Verbindung mit der Auswerteschaltung AS nur passiv am Modulationsvorgang beteiligt ist, wobei zugleich erreicht wird, dass die durch den Mischprozess anfallenden Ladungen weitgehend ungestört vom Modulationssignal ausgelesen werden können. Das geringe kapazitive Übersprechen des Modulationssignals von A1 auf die Ausleseelektroden A2 kann zusätzlich durch eine Kompensationsschaltung mit kapazitiver Kopplung des inversen Modulationssignals auf A2 verringert werden. Fig. 2 zeigt am Beispiel einer ASM-PMD-Struktur in Schottky-Technologie eine mögliche Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Das Auslesenetzwerk AN kann hierbei vorzugsweise aus einer Kapazität gegen Masse, meist als Streukapazität ohnehin wirksam, und aus einem Transimpedanzverstärker mit einer rücksetzbaren Kapazität C_f oder einer parallelen RC-Schaltung im Rückkopplungsweig eines invertierenden Verstärkers bestehen.

Ein besonderer Vorteil dieser PMD-Ausführung besteht in der Möglichkeit des aperiodischen und in der Bandbreite zu tiefen Frequenzen uneingeschränkten Mischens und Korrelierens.

Beiden Verfahren gemeinsam ist die hohe Selektivität und Empfindlichkeit bei der Auswertung des gesuchten korrelierten Signalanteils in der Signalwelle 11 und die hohe Unterdrückung nicht-korrelierter Signalanteile wie Rauschen und Hintergrundstrahlung: Gleichtaktladungen an beiden Ausleseelektroden A_1' , A_2' in Fig. 1 werden durch die nachfolgende Differenzbildung der Auswerteschaltung gemäß dem Frequenzabstand vom Modulations- bzw. Abtastprozess unterdrückt.

Beim SSM-PMD ergeben die korrelierten Signalanteile gemäß der gewollten Korrelation zwischen der modulierten Signalwelle und dem Gegentakt-Modulationssignal automatisch Gegentaktströme bzw. -ladungen mit einer Differenz gemäß der Autokorrelationsfunktion.

Beim ASM-PMD mit einem einseitig an A_1' angeschlossenen bipolaren Modulationssignal $u_m(t)$ ergeben die nichtkorrelierten Signalanteile auf der Ausleseelektrode A_2' im Mittel gleich große positive und negative Ströme und heben sich beim Integrationsprozess gegenseitig auf. Die korrelierten Signalanteile dagegen ergeben gemäß der gewollten Korrelation zwischen Signalwelle und Modulationssignal automatisch einen gerichteten Strom bzw. nach der Integration eine Ladung bzw. Spannung U_Δ gemäß der Autokorrelationsfunktion.

Das am Beispiel des in Fig.1 und 2 in Schottky-Dioden-Technologie ausgeführte Misch- und Korrelationsprinzip in den beiden Varianten der Selbstmodulation kann auch in anderen Technologien realisiert werden, um spezielle Anforderungen der Problemstellung vorteilhaft zu erfüllen.

Wird z.B. keine hohe Schaltgeschwindigkeiten verlangt, so sind keine Schottky-Dioden erforderlich. An ihrer Stelle werden dann für A_1 und A_2 in Fig.1 und 2 erfindungsgemäß PN-Übergänge eingesetzt, wie in Fig. 3 z.B. durch entsprechende Kathodenstreifen gezeigt. Dies wird am Beispiel des SSM-PMD, hier als PN/ME-PMD bezeichnet, erläutert, wobei eine zusätzliche Verbesserung eingeführt wird. Dabei werden die zur Vermeidung des ungewollten Dunkelstroms bei Beleuchtung ohnehin notwendigen metallischen Abschirmungen der Auslekathoden bzw. -anoden zugleich in den Modulationsprozess einbezogen. Dazu wird gemäß Fig. 3 der Kathodenstreifen K_1 bzw. K_2 durch eine Metallelektrode ME_1 bzw. ME_2 gegen einfallendes Störlicht abgedeckt. Gleichzeitig werden die Modulationssignale kapazitiv über C_k sowohl auf die Kathodenstreifen K_1 , K_2 als auch auf die Metallelektroden ME_1 , ME_2 gekoppelt. Das mittlere Potential von K_1 und K_2 wird etwas höher als das mittlere Potential U_{ME} in Fig. 3 von ME_1 und ME_2 gewählt, um für die Photoelektronen den Ausleseprozeß zu beschleunigen. Die übrigen Schaltungs- teile entsprechen im Wesentlichen denen von Fig.1 und 2.

Ein praktisch wichtiger Unterschied zwischen der Schottky-Dioden- und der PN-Dioden-Ausführung besteht in dem Einfluß des Substrats bzw. der Gegenelektrode.

Im ersten Fall besteht bei Schottky-Kontaktstreifen auf der hochohmigen p- oder n- Epitaxialschicht (3) praktisch kein Einfluß und über dem Substrat in Fig. 1 könnte auch eine Isolationschicht eingefügt werden. Dann tragen sowohl Elektronen als auch Löcher zum Mischprozess bei.

Bei der SM-PMD-Ausführung mit PN-Dioden bestehen beide Möglichkeiten: 1. Das Substrat kann isoliert sein und die modulierte Umpolung der PN-Diodenstreifen führt zum Richtungswechsel des Photostroms aus Löchern und Elektronen. 2. Die Löcher werden, wie in Fig. 3 dargestellt, von der negativ mit UA vorgespannten Anode A gesammelt und tragen nicht zum Mischprozess bei. Hierbei werden höhere Schaltgeschwindigkeiten erreicht.

Das PN/ME-PMD in Fig. 3 ist doppelt ausgeführt, um zwei Messungen der Korrelation parallel durchzuführen, die Inphase (I)-Messung links und die Quadratur (Q)-Messung rechts. Aus dem I- und Q-Wert lässt sich unmittelbar die Differenzphase zwischen der Signalwelle 11 und dem Modulationssignal $u_m(t)$ bestimmen..

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung der vorstehenden Ausführung werden in Fig. 4 die Kathodenstreifen K1 und K2 zusätzlich bei geeigneten Vorspannungen mit einer Hochfeldzone umgeben, um eine Photostromverstärkung durch den Lawineneffekt zu erzielen. Um möglichst gleichmäßige Felder zu erzeugen, kann die Anodenform zylindrisch den Kathodenstreifen angepasst werden.

In Fig. 5 wird eine Ausführung der Erfindung dargestellt, die den Misch- und Korrelationsprozess sowohl an der Oberseite als auch auf der Unterseite des photosensitiven Materials 3 parallel durchführen kann. Dieses sog. Doppel-PMD weist in Fig. 5 durch die gegenüberliegenden Anoden und Kathoden die Struktur von mindestens zwei und vorzugsweise einer Vielzahl von parallel angeordneten PIN-Dioden auf, die vorzugsweise in zwei verschiedenen Arten betrieben werden kann.

1. Die gegenüberliegenden PMDs werden unabhängig, d.h. mit zwei unterschiedlichen, vorzugsweise Gegentakt-Modulationssignalen moduliert, wodurch der z.B. als SMM-PMD ausgeführte Mischprozess eine doppelte Gegentaktmischung durchführt. Die beiden Mischprozesse beeinflussen sich dann nicht, wenn beide Gegentakt-Modulationssignale orthogonal sind. Sie beeinflussen sich trotz fehlender Signal-Orthogonalität auch dann nicht, wenn die Anordnung der gegenüberliegenden Elektroden orthogonal ist, wie im Ausführungsbeispiel in Fig. 5 gezeigt. In diesem Fall kann erfindungsgemäß die gleiche Signalwelle im Multiplexbetrieb z.B. bezüglich zweier Codierungen vermessen werden, wie z.B. bei IQ-Messungen bei CW-Modulation oder bei Diskriminator-AKF-Messungen bei PN-Codierung häufig erforderlich.

Eine Erhöhung des Gauntenwirkungsgrades kann durch Verspiegelung der Oberseite des Trägermaterials (Substrat) erzielt werden.

Eine spektrale Trennung unterschiedlicher eingestrahlter Lichtsignale kann dadurch erzielt werden, dass auf der lichtzugewandten Seite das z.B. vornehmlich blaue Lichtsignal mit typisch geringerer Absorptionslänge nahe der Oberfläche die „blaue“ Photoladung erzeugt, während z.B. das vornehmlich rote Lichtsignal mit typisch längerer Absorptionslänge tiefer eindringt und vornehmlich, vorzugsweise unterstützt durch eine Reflexionsschicht, auf der lichtabgewandten Seite der Halbleiterstruktur die „rote“ Photoladung erzeugt.

2. Diese Doppel-PMD-Struktur ist in einer Ausführung als MSM-PMD-Struktur besonders vorteilhaft. Ausgehend von der beschriebenen Schottky- bzw. MSM-Struktur zu Fig. 1 und 2 werden die Kathodenstreifen K1 und K2 oben und die Anodenstreifen A3 und A4 unten in Fig. 5 durch Metallstreifen auf dem n-Substrat ersetzt und könnten unabhängig, vorzugsweise aber in der oben beschriebenen Kooperation insbesondere in orthogonaler Geometrie und orthogonaler Modulation mit höchster Zeitauflösung parallel z.B. für Referenz und Ziel betrieben werden.

Eine weitere PMD-Ausführung des erfindungsgemäßen des Verfahrens erfolgt auf Basis eines Vakuum-PMD. Eine Photokathode auf einem Potential von z.B. $U_k = -100$ Volt empfängt die Signalwelle. Diese Signalwelle wird in eine entsprechende Signalwelle aus Photoelektronen PEL im Vakuum umgesetzt. Parallele Anodenstreifen A1a und A2a werden in einer solchen Vakuumphotodiode symmetrisch moduliert und könnten den von einer Photokathodenschicht K erzeugten Photostrom durch die zwei Elektrodenarten A1a und A2a in dieser Anodenebene a erfindungsgemäß über ein Auslesenetzwerk $AN_{1,2}$ auslesen. Dieser Aufwand ist nur gerechtfertigt, wenn zusätzlich eine hohe Verstärkung erzielbar ist. Diese wird gemäß Fig. 6 durch eine Mikrokanalplatte (Micro Channel Plate) MCP mit einer in entsprechenden Streifen metallisierten Stirnseite anstelle der Anodestreifen erzielt, die die Zuordnung der Photoelektronen zu den beiden Elektrodenarten wie bisher im Gegentakt über $u_m(t)$ modulieren. Nach diesem Mischprozess werden die Photoelektronen PEL streifenweise durch den Sekundärelektroneneffekt in den Mikrokanälen der MCP z.B. 1000-fach vervielfältigt und von den beiden Anodenstreifenarten A1b und A2b auf deren Rückseite der MCP in der zweiten Anodenebene b über A1b, A2b ausgelesen. Dieser MCP-Photomischdetektor MCP-PMD weist neben der hohen Verstärkung auch eine hohe Bandbreite von über 1GHz durch eine sehr schnelle Kanaluordnung der Elektronen vor den Mikrokanälen, dem zugrunde liegenden Mischprozess, auf.

Die Auslese der verstärkten Photoelektronen geschieht entweder direkt über eine den modulierenden Anodenstreifen paarweise angepaßte Pixelstruktur mit Ladungsauslese oder zusätzlich mit einer nachfolgenden nachbeschleunigten und pixelweise direkten Auslese oder elektrooptisch über einen Leuchtschicht mit optischer PMD-Auslese z.B. gemäß Fig. 1 oder Fig. 2.

Das vorstehende erfindungsgemäße Misch- und Korrelationsprinzip wird vorstehend nur an Beispielen elektromagnetischer Signalwellen oberhalb von ca. 15 THz, bei dem die Paarbildung durch energiereiche Photonen technisch genutzt werden kann, ausgeführt. Es kann erfindungsgemäß auch auf Mikrowellen erweitert werden.

Für Mikrowellen unterhalb ca. 10 THz steht dieser photoelektrische Effekt nicht zur Verfügung. Dann wird ein Zugriff auf die Signalwelle vorzugsweise über die auf der Antennenoberfläche von den Verschiebungsströmen induzierten Antennenströmen möglich. Das erfindungsgemäße Misch- und Korrelationsprinzip wird durch eine geeignete Ausführung der PMD-Ladungsschaukel auch auf Mikrowellen anwendbar und wird im folgenden anstelle Photonic Mixer Device (PMD) für Mikrowellen Microwave Mixer Device (MMD) genannt. Für die angestrebte Lösung für vorzugsweise sehr hohe, bis heute nicht erschlossene Frequenzbereiche sind vorzugsweise Patchantennen geeignet, die in einer Fingerstruktur die Energie aus einem gegenüber der Wellenlänge relativ großen Querschnitt des MMD-Pixeldurchmessers die Signalwellenenergie über die wellenlängenkohärente Verkopplung der Finger an nur einem Auslesekontaktpaar für eine geeignete Ladungsschaukel verfügbar macht. Eine mögliche Ausführung dieser Ladungsschaukel besteht darin, dass sowohl beim SSM-PMD als auch beim ASM-PMD z.B. die antiserielle Photodiodenstruktur von Fig. 1a durch eine einzige Antiparallelschaltung zweier Dioden, vorzugsweise Schottky-Dioden ersetzt und so ein SSM-MMD bzw. ein ASM-MMD gebildet wird. Dabei wird das Gegentakt-Antennensignal von der Gesamtstruktur der Patchantenne gepuffert und z.B. an den Klemmen der Dioden D1 und D2 in Fig. 7, die eine entsprechende Vorrichtung als Blockschaltbild mit dem SSM (Symmetrisch-Selbst-Modulierenden)-MMD zeigt, vorzugsweise kapazitiv eingekoppelt.

Zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahren auf Mikrowellen wird die Signalwelle zunächst durch die Antenne in Fig. 7 in einen Antennenstrom umgewandelt, der aufgrund der wellenlängenkohärenten Verbindungen der Fingerstruktur für den relativ niederfrequenten Bereich des interessierenden Modulationssignals an den Klemmen von D1 und D2 zur Verfügung steht. Zur Ermittlung der Phase und Amplitude der Signalwelle dient vorzugsweise eine Gegentakt-Gleichrichterschaltung aus Schottkydioden, im einfachsten symmetrischen Fall ein Paar antiparalleler Schottkydioden D_1 und D_2 an einem vorzugsweise symmetrischen Antennenausgang vieler einzelner Antennenelemente. Das Modulationssignal $u_m(t)$ ist im einfachsten Fall und ohne Mischverstärkung ein Rechtecksignal von z.B. einigen MHz, eine Modulationsfrequenz, die für Abstandsmessungen mit Genauigkeiten im cm-Bereich ausreicht. Es schaltet den Mikrowellenträger der Signalquelle SQ über die Leitung 13 ein und aus. Für die Demodulation dieser MMD-Ladungsschaukel wird das entsprechende Modulationssignal als Gegentakt-Rechteckspannung $+u_m(t)$ über Koppelnetzwerke KN_{m1} und KN_{m2} , vorzugsweise als Koppelkapazitäten C_m und vorzugsweise in Serie mit einer den Frequenzen angepassten Induktivität L_m zur induktiven Entkopplung der Mikrowellen ausgeführt, symmetrisch an das

lung der Mikrowellen ausgeführt, symmetrisch an das Diodenpaar gelegt. Die mit unbekannter Laufzeit τ bzw. Phase φ_m verzögerte Eingangs-Signalwelle $s_s(t-\tau)$ wird so je nach der Phasenlage der Diodenvorspannung einen Gleichrichterstrom durch die Diode D_1 oder D_2 verursachen und die beiden Koppelkapazitäten C_m aufladen. Bei 90° Phasenverschiebung fließt aus Symmetriegründen der gleiche Gleichrichterstrom in die eine wie die andere Richtung, so dass der Summenstrom die Integrationsladung Null ergibt. Bei 0° Phasenverschiebung fließt ein maximaler Gleichrichterstrom in die eine Richtung, bei 180° Phasenverschiebung in die andere Richtung. Die zugehörige Korrelationsfunktion AKF über der Laufzeit weist bei Rechteckmodulation die bekannte Dreiecksform auf. Die Stromauslese der antisymmetrischen Ladungen von den Koppelkapazitäten C_m erfolgt über das Auslesenetzwerk AN vorzugsweise als Abtastschaltung mit Reset ausgeführt und über Auswerteschaltung AS. Sie erfolgt mit so kurzen Integrationszeiten und so niederohmig, dass die integrierte Ladespannung auf den Koppelkapazitäten und entsprechende Rückströme über die Dioden zu vernachlässigen sind. Die nichtkorrelierte Hintergrundstrahlung führt aus Symmetriegründen zu Ladungen auf den Koppelkapazitäten C_m , die sich gegenseitig kompensieren und wird auf diese Weise bis auf korrigierbare Symmetriefehler z.B. durch eine Regeleinrichtung (Control) und eine Stromkompensation SK wie in Fig. 9 dargestellt automatisch ausgegelt und unterdrückt.

Die Empfangseinrichtung besteht weiterhin aus der Antenne, vorzugsweise aus einer abbildenden Fresnel-Mikrowellenlinse oder einer Parabolspiegellinse für mindestens ein, vorzugsweise aus einem Array von MMD-Elementen, vorzugsweise als Bildpixelarray von Patch-Antennen ausgeführt, ferner aus dem Auslesenetzwerk AN, der Auswerteschaltung AS, der Systemsteuerung SST, dem vom Lokaloszillator LO mit der Trägerfrequenz f_T gespeisten Sender SQ, der über die Phasensteuerung (Phase Delay) und die Zuleitung 13 mit $u_m(t)$ moduliert wird. Sie enthält entsprechend Fig. 7 und 9 beim Aktiv-MMD eine Vorrichtung zur Mischverstärkung vorzugsweise mit einer fortlaufend getasteten Phasenstufe FS zur Erzeugung einer Frequenzverschiebung und mit dem Koppelnetzwerk KNx für das vorzugsweise vom Lokaloszillator LO abgeleiteten Mischsignals $\pm s_x(t)$, das auf mindestens ein Diodenpaar übertragen wird. Während beim Passiv-MMD ohne Mischverstärkung z.B. im OOK (ON-OFF-Keying)-Modus gemessen wird, erlaubt der Aktiv-Modus z.B. Messungen im BPS (Bi Phase Shift)-Keying-Modus aber auch eine Vielzahl anderer üblicher Modulationsarten. Die unmittelbaren Mischergebnisse s_a und s_b eines MMD-Arrays und daraus abgeleitet die AKF-, Phasen- und Amplitudenwerte der Signalwelle werden vorzugsweise einer nachfolgenden Bildauswertung zugeführt.

Zur Ermittlung einer statischen Laufzeit ohne Mischverstärkung wird die Lage der Korrelationsfunktion $AKF(\tau)$ bzw. $KKF(\tau) = U\Delta(\tau)$ vorzugsweise über 4 Phasenmessungen ermittelt. Dazu wird das Modulationssignal der MMD-Mischeinrichtung in vier Stufen $\varphi_{ind} = 0^\circ / 90^\circ / 180^\circ$ und 270°

bzw. $t_d = 0 / \frac{T_m}{4} / \frac{T_m}{2} / \frac{3T_m}{4}$ verzögert. Die Laufzeit ergibt sich als $\tau = 0,25T_m (\Delta I_m / (\Delta Re + \Delta I_m))$ mit $\Delta I_m = U_\Delta (90^\circ) - U_\Delta (270^\circ)$ und $\Delta Re = U_\Delta (0^\circ) - U_\Delta (180^\circ)$.

Fig. 8 zeigt vereinfacht ein Ausführungsbeispiel des MMD-Misch- und Korrelationsprinzips für ein Pixel einer passiven MMD-Radareinheit, d.h. für ein Passiv-MMD-Pixel ohne Mischverstärkung mit einer asymmetrischen Modulation und Auslese, also ein passives ASM-MMD.

Auf die Patchantennen-Fingerstruktur trifft die codierte Signalwelle $11 = s_E(t)$ im Frequenzbereich von z.B. 10 – 1000GHz. Die Breite der auf Resonanz abgestimmten Finger A1 und A2 beträgt $\lambda/2$ oder ein ungerades Vielfaches desselben. Die Länge ist praktisch beliebig und könnte im Fall gewünschter Polarisationsunabhängigkeit auch quadratisch ausgeführt werden. Das Modulationssignal $u_m(t)$ der Modulationsquelle M liegt über C_m an der Fingerstruktur A1. Hier wird vorzugsweise ein relativ hoher Innenwiderstand der Modulationsquelle M bevorzugt, der durch die Ersatzschaltung aus $i_m(t)$ und den Innenwiderstand R_i angedeutet wird. Das Misch- und Korrelationsprinzip beruht auch hier auf der modulierten Ladungsschaukel, hier auf der modulierten Leitfähigkeit der mindestens zwei Schottky-Dioden D1 und D2.

Das Übersprechen des Modulationssignals auf den Eingang des Auslesenetzwerks AN wird durch die Kapazität C_{AN} und eine Stromkompensationsschaltung SK und den Strom i_{kom} , der vorzugsweise über die Auswerteschaltung AS auf minimales Übersprechen geregelt werden kann, kompensiert.

Die nichtkorrelierten Anteile der Signalwelle aufgrund des Mischprozesses ergeben bei dieser asymmetrischen Selbstmodulation (ASM-MMD) wiederum am Eingang des Auslesenetzwerks AN einen Wechselstrom, der zu Null integriert wird, während die korrelierten Anteile einen gerichteten Strom ergeben, der zur Autokorrelationsfunktion AKF integriert und über die Auswerteschaltung AS bzgl. der AKF-Werte, Phasen und Laufzeiten $\phi_{m,x,y} = \omega\tau_{m,x,y}$ und der Amplituden ausgewertet wird. Ein Array von MMD-Pixeln liefert so über x,y ein Mikrowellen-3D-Bild.

Eine Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf Mikrowellensignale mit Mischverstärkung wird in Fig. 9 dargestellt, das als sog. Aktiv-MMD bezeichnet wird, wiederum als asymmetrisches MMD ausgeführt. Die Gegentakt-Patchantenne entspricht in etwa einer Verdopplung derjenigen des Passiv-MMD aus Fig. 8, wobei die mittleren Fingerstrukturen A_2, A_2' in Fig. 9 verbunden sind. Zusätzlich zur Signalwelle 11 trifft ein Mischsignal $s_x(t)$, das vorzugsweise nicht moduliert ist, in gleicher Polarisation auf die untere und in umgekehrter Polarisation (180° Phasenverschiebung) auf die obere Fingerstruktur. Dazu dient z.B. die $\lambda/2$ -Platte 10 in Fig. 9. Bei phasenrichtiger Überlagerung von Empfangssignal $s_E(t)$ und Mischsignal $s_x(t)$ wird die MMD-Empfindlichkeit wesentlich gesteigert.

Die vereinten Fingerstrukturen A2 werden über die Modulationsquelle M wie in Fig. 8 relativ hochföhmig moduliert.

Das Mischergebnis erscheint als Gegentaktsignal an den A1- und A1'-Fingern und wird über das Auslesenetzwerk AN vorzugsweise mit einem getasteten, doppelten Miller-Integrator ausgelesen, wobei der Masseanschluss der Plus-Eingänge entfallen und vorteilhaft durch eine hochföhmige Brücke zu den Minus-Eingängen ersetzt werden kann. Das obere und untere Modulationssignal liegt mit gleicher Polarität an den Eingängen von AN und führt theoretisch zu keiner ausgangsseitigen Aussteuerung für $U_A(t)$. Unvermeidliche Unsymmetrien und Übersteuerungen werden durch zwei Maßnahmen neben Temperaturkonstanz und Symmetrie der Bauelemente und Spannungen erreicht:

1. In Kalibriermessungen werden die der Stromkompensationsschaltung SK über mindestens eine Regeleinrichtung (Control) so abgeglichen, dass die Fehlersignale an den Ausgängen A₁, A₁' minimiert werden. Die Kompensationsströme i_{kom} und i_{kom}' enthalten einen Gleichanteil und einen den Einfluß des Modulationssignals kompensierenden Wechselanteil.

2. Die Abtastausleseschaltung verwendet vorzugsweise Integrationszeiten, die der Signalamplitude etwa umgekehrt proportional angepasst werden. Während des Ausleseprozesses wird die Modulation vorzugsweise unterbrochen.

Zur Ermittlung der gesuchten Phasenlage der AKF z.B. eines reflektierenden Objektes wird bei fehlender Bewegung und Dopplerverschiebung von Objekten vorzugsweise eine geeignete Frequenzverschiebung der Mischsignalfrequenz gegenüber der Sendesignalfrequenz erzeugt, wie zuvor zur Phasenstufe FS beschrieben. Die Fortschaltung der Phasen oberhalb der Shannonrate durch die diskrete Phaseschiebeeinheit FS mit einem Frequenzversatz führt zum Laufzeit-Scannen der AKF und damit zur Entfernungsbestimmung über der Bildtiefe.

Die vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen PMD-Lösungen und -Strukturen weisen insbesondere die im folgenden aufgezählten Vorteile gegenüber dem Stand der Technik auf:

1. Die optische Dämpfung des Lichtsignals durch die modulierenden Photogates der bekannten PMD-Strukturen entfällt vollständig. Die zusätzlich modulierten Metallelektroden ME bilden zugleich den erforderlichen Lichtschutz für die Ausleseelektroden und können als Metallelektroden höchste Modulationsfrequenzen übertragen.

2. Die fingerartigen Metall und Halbleiterstrukturen des erfindungsgemäßen SSM-PMD mit Abtastauslese und des ASM-PMD mit entkoppelter Auslese ist wesentlich einfacher, hoch integrierbar, hochempfindlich, ermöglicht wesentlich erweiterte Bandbreiten für Modulation- und Nutzsignale und erfordert weniger Prozessschritte zur Herstellung gegenüber dem Stand der Technik.

3. Da zwischen den gegenläufig modulierten Elektroden (z.B. A_1, A_2 und ME_1, ME_2) keine weiteren störenden Strukturen erforderlich sind, können die Elektrodenabstände und damit die Laufzeiten der Photoladungen entscheidend verringert werden.
4. Das Modulationsfeld wirkt unmittelbar in Richtung des gewünschten Photoladungstransportes. Dadurch ergibt sich eine effektivere Nutzung der Modulationsspannung mit dem Effekt der Erhöhung der Driftgeschwindigkeit und entsprechend höherer Modulationsbandbreite oder mit der Möglichkeit, die Modulationsleistung wesentlich zu verringern.
5. Die Sperrspannung der Photodioden beim PN/ME-PMD unterstützt den Ladungstransport für größere Eindringtiefen des Lichtsignals wesentlich, da sie bis zum Erreichen der Sättigungsfeldstärke und bis zur erforderlichen Ausdehnung der Raumladungszone einstellbar ist und so den Ladungstransport aus der Tiefe des photosensitiven Halbleitermaterials wesentlich beschleunigt. Hierdurch sind Bandbreiten erreichbar, die denen üblicher PIN-Photodioden entsprechen. Auf diese Weise eignet sich das erfindungsgemäße PN/ME-PMD auch für große Absorptionslängen.
6. Die Photodiodenstruktur des Schottky-PMD ist besonders vorteilhaft für geringe Eindringtiefen bzw. Absorptionslängen des Signalwelle. Bei Absorptionslängen im 1-10 μm -Bereich und bei einer Streifenstruktur mit z.B. einer Gitterkonstanten von 5-10 μm und Elektrodenbreiten von 1-5 μm werden Modulationsbandbreiten von mehreren GHz erwartet.
7. Die planare Streifenstruktur ist in verschiedenen Technologien und Halbleitermaterialien nahezu unabhängig von der Pixelgröße durch die Streifenbreite und jeweilige Fingerlänge flexibel an die gestellten PMD-Anforderungen anpassbar.
8. Für den Spektralbereich von ca. 4...7 μm sowie 8...12 μm kann z.B. mit relativ hoher Quantenausbeute und hinreichender Schnelligkeit ein erfindungsgemäßes gekühltes PN/ME-PMD in InSb (Indium-Antimonid) sowie in HgCdTe-Technologie und damit eine entsprechend augensichere 3D-Kamera für höchste Frequenzen realisiert werden, die Nebel teilweise durchdringt.
9. Wenn es um die Vermessung insbesondere zweidimensionaler Wärmebilder ohne Laufzeitmessung geht, so kann eine erfindungsgemäße PMD-Kamera als virtuell gekühlte 2D-Kamera (PMD-Cooled Thermal Camera) dienen, indem die ankommende Wärmesignalwelle vor der PMD-Einstrahlung über ein Shutter moduliert wird, wobei das PMD-Pixelarray mit dem gleichen Modulationssignal moduliert wird, allerdings mit relativ kleinen Modulationsfrequenzen, da keine Laufzeiten gemessen werden. Auf diese Weise wird das Eigenrauschen und der Dunkelstrom der PMD-Wärmekamera um Größenordnungen verringert, so dass die übliche Kühlung entfallen kann. Das gleiche Prinzip gilt erfindungsgemäß auch für entsprechende 2D-Mikrowellen-Kameras für unbekannte Mikrowellensignale 11.

10. Die beschriebene PN/ME-PMD-Struktur ist vorteilhaft für eine Ausführung mit Ladungsträgermultiplikation (Avalanche Effekt) durch eine Hochfeldzone geeignet und erreicht als APD-PMD durch die Photostromverstärkung 10 - 100fach höhere Empfindlichkeiten.

11. Das vorgeschlagene Verfahren und die Vorteile der darauf beruhenden PMD-Komponenten und Anwendungen betreffen eine Vielfalt fortschrittliche Einsätze, z.B.:

- Phasenregelkreise (PLL) und CDMA (Code-Division-Multiple Access)-Empfänger
- dreidimensional vermessende und digitalisierende Photo- und Videokamera und als Elektronisches 3D-Roboterauge und 3D-Abstandsradar
- kombinierte Opto-Mikrowellen-3D-Kamerasysteme für die Fahrerassistenz und Unfallvermeidung, Kombiniert mit einem Inertialsystem für eine verbesserte 3D-Bildverarbeitung, weiterhin kombiniert mit dem GPS für Autopilotfunktionen
- 3D-PMD-Kamera als Optisches SAR (Synthetisches Apertur Radar)-Interferometer
- 2D-PMD-Kamera niedriger Modulationsfrequenz ohne Laufzeitmessung aber mit hoher Hintergrundlichtunterdrückung

um nur wenige Anwendungen aufzuführen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung und zur Verarbeitung der Amplitude und Phase von Signalwellen, wobei eine Signalquelle eine modulierte Signalwelle erzeugt, die auf ihrem Weg durch ein Übertragungsmedium bzw. durch ein Objekt aufgrund von Reflexion und/oder Streuung verändert, von einer Empfangseinrichtung empfangen und dort mit einem Modulationssignal, das in einer wohldefinierten Beziehung zu der Modulation der Signalwelle steht, durch eine Modulationsvorrichtung ohne den Träger der Signalwelle direkt demoduliert und bezüglich der Amplitude der modulierten Signalwelle und der Phasenbeziehung der Modulationsphase der Signalwelle und des Modulationssignals erfaßt und ausgewertet wird, wobei in einem auf die Signalwellen empfindlichen Sensor einer Empfangseinrichtung durch die Signalwellenenergie unmittelbar oder mittelbar erzeugte Wellenenergieteilchen in einem Schaukelprozeß mit einer Wellenenergieschaukel nach Maßgabe des Modulationssignals auf mindestens zwei unterscheidbare Gruppen von Aufnahmeelementen des Sensors geleitet, erfaßt, gegebenenfalls verstärkt und auf mindestens einem den Gruppen von Aufnahmeelementen entsprechenden Auslese-Ausgang einer Ausleseseinheit als Summen- und/oder Korrelationssignal ausgegeben werden, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens eine der Gruppen von Aufnahmeelementen direkt mit dem Modulationssignal beaufschlagt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Gruppen von Aufnahmeelementen verwendet werden, die eine vorzugsweise ineinandergreifende Fingerstruktur haben.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmeelemente in Streifen- bzw. Fingerform ausgeführt sind und eine vorgesehene Sensorfläche durch eine entsprechend Anzahl und Länge solcher Aufnahmeelemente ausgefüllt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß beide Gruppen von Aufnahmeelementen antisymmetrisch im Gegentakt mit dem Modulationssignal beaufschlagt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Trennung des Modulationssignals und des Auslesesignals über ein abtastendes Auslesenetzwerk erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß nur eine der Gruppen von Aufnahmeelementen mit dem Modulationssignal direkt beaufschlagt wird, wobei der zwischen den beiden Gruppen von Aufnahmeelementen fließende Strom direkt oder in

Form sich sammelnder Ladung indirekt an einer anderen, nicht modulierten Gruppe von Aufnahmeelementen gemessen bzw. ausgewertet wird

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Auslesen der nicht modulierten Gruppe von Aufnahmeelementen durch ein niederohmiges Auslesenetzwerk, vorzugsweise unter kapazitiver und kompensierender Aufschaltung des inversen Modulationssignals, erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die modulierte Signalwelle erzeugten Wellenenergieteilchen durch Vervielfachung verstärkt werden, wie z.B. durch den Avalanche-Effekt in einem Halbleitermaterial oder durch Sekundärelektronenvervielfachung im Vakuum.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei der symmetrischen Modulations- und Auslesestruktur sich die Modulationsfrequenz von der Trägerfrequenz hinreichend deutlich, und vorzugsweise um mindestens einen Faktor 100 unterscheidet.
10. Vorrichtung zur Erfassung und zur Verarbeitung der Amplitude und Phase von Signalwellen, mit einer Signalquelle, die eine modulierte Signalwelle erzeugt, einer Empfangseinrichtung für die auf ihrem Weg durch ein Übertragungsmedium bzw. durch ein Objekt aufgrund von Reflexion und/oder Streuung veränderte Signalwelle, einer Modulationsvorrichtung der Empfangseinrichtung, welche mit einem Modulationssignal, das in einer wohldefinierten Beziehung zu der Modulation der Signalwelle steht, beaufschlagt wird, einem auf die Signalwellen empfindlichen Sensor der Empfangseinrichtung, in welchem durch die Signalwellenenergie unmittelbar oder mittelbar Wellenenergieteilchen erzeugt werden, wobei die Modulationsvorrichtung dafür ausgelegt ist, die Wellenenergieteilchen in einem Schaukelprozeß mit einer Wellenenergieschaukel nach Maßgabe des Modulationssignals auf mindestens zwei Gruppen von Aufnahmeelementen des Sensors zu leiten, und mit mindestens einem entsprechenden Auslese-Ausgang einer Ausleseeinheit, für die Ausgabe eines Summen- und/oder Korrelationssignals **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens eine der Gruppen von Aufnahmeelementen unmittelbar mit der Modulationsvorrichtung verbunden ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmeelemente fingerartige, vorzugsweise ineinandergreifende Strukturen aufweisen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Gruppen von Aufnahmeelementen vorgesehen sind, die mit je einem von zwei im Gegentakt modulierten Anschlüssen der Modulationsvorrichtung verbunden sind.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß für beide Gruppen von Aufnahmeelementen ein abtastendes Auslesenetzwerk vorgesehen ist, welches vorzugsweise über einen Differenzverstärker die auf Koppelkapazitäten zwischengespeicherten Ladungen der jeweiligen Gruppe von Aufnahmeelementen ausliest.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Gruppen von Aufnahmeelementen vorgesehen sind, von denen nur eine mit der Modulationsvorrichtung verbunden ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vermeidung eines kapazitiven Übersprechens des Modulationssignals auf die nicht modulierte Gruppe von Ausseeelektroden eine kapazitive Kompensationsschaltung des inversen Modulationssignals auf diese Gruppe vorgesehen ist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren auf elektromagnetische Wellen empfindlicher Halbleiter (Fotohalbleiter) sind.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmeelemente mit Elektronenvervielfachern verbunden sind oder Avalanche-Halbleiterelemente aufweisen.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalquelle eine modulierbare Quelle elektromagnetischer Strahlung ist, die in einem vorzugsweise schmalen Spektralbereich modulierte elektromagnetische Wellen aus dem Spektrum vom Bereich der Radiowellen bis hin zum fernen Infrarot emittiert.
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß als Aufnahmeelemente für Mikrowellen Patchantennen vorgesehen sind, deren Ausgänge über Diodenpaare gleichgerichtet und mit Koppelkondensatoren verbunden sind.
20. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, 3, 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Gruppen von Patchantennen, die jeweils wellenlängenkohärent miteinander verbunden sind und wobei die mindestens zwei Gruppen über mindestens ein antiparalleles Diodenpaar verbunden sind, eine Signalwelle empfangen, wobei die Signalwelle durch das antiparallele Diodenpaar im Takt mindestens eines über eine Koppelkapazität auf eine Gruppe eingeleitetes Modulationssignal gleichrichtet wird, und wobei die gleichgerichtete

bzw. gemischte Signalwelle an der mindestens einen anderen Gruppe von Patchantennen ausgelesen wird.

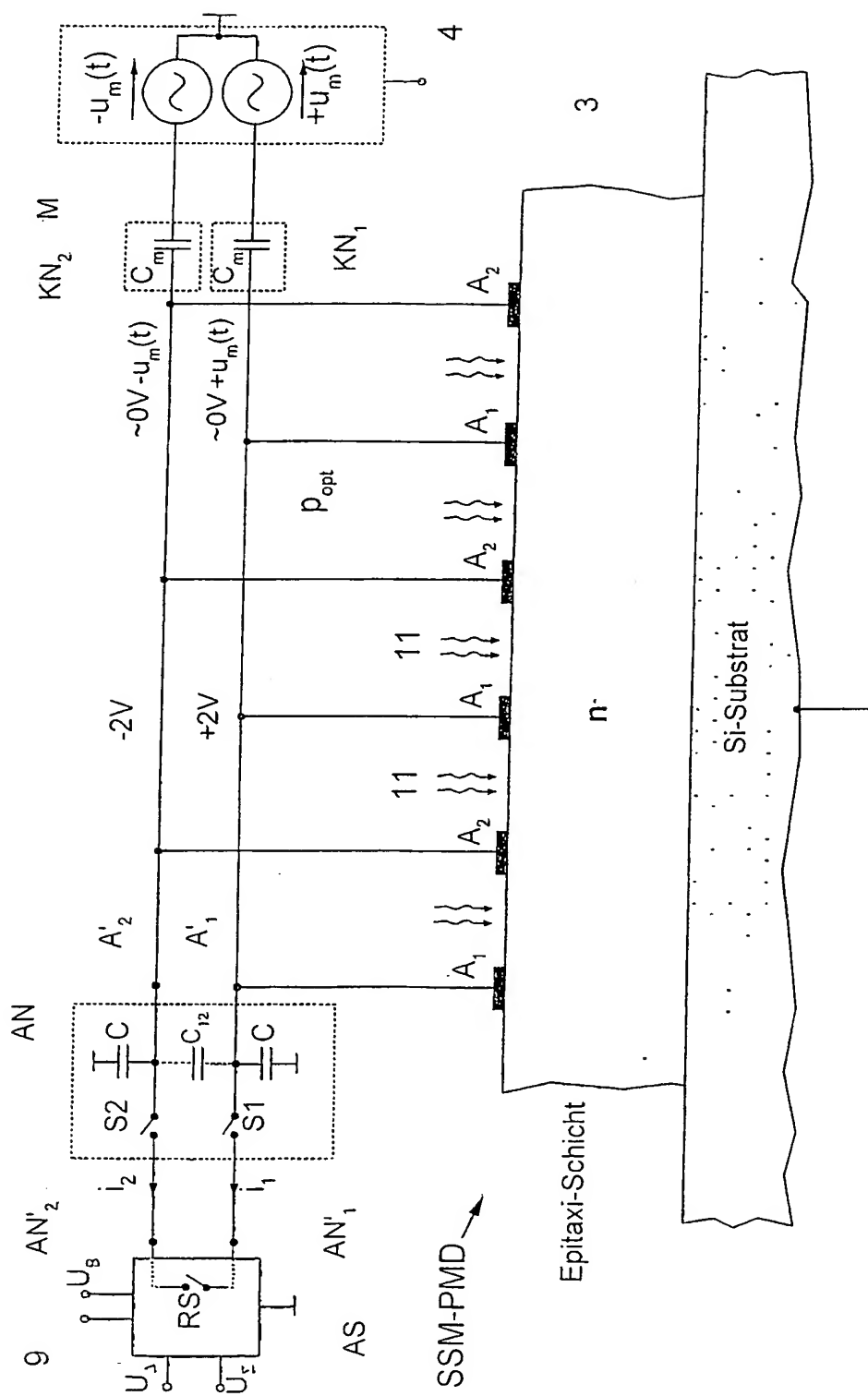
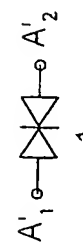


Fig. 1

Fig. 1a



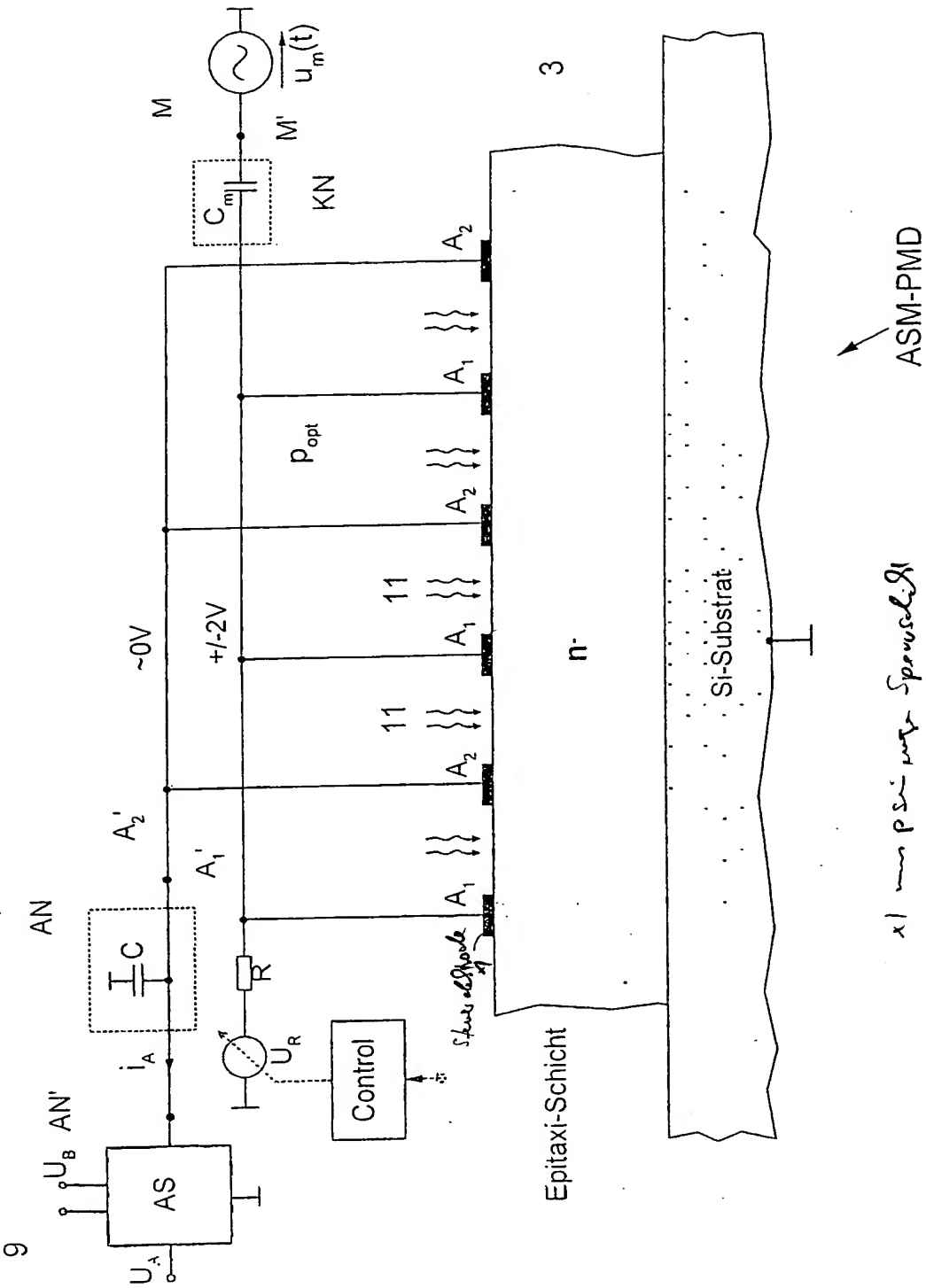


Fig. 2

x1 mm pSi mit Sparschicht

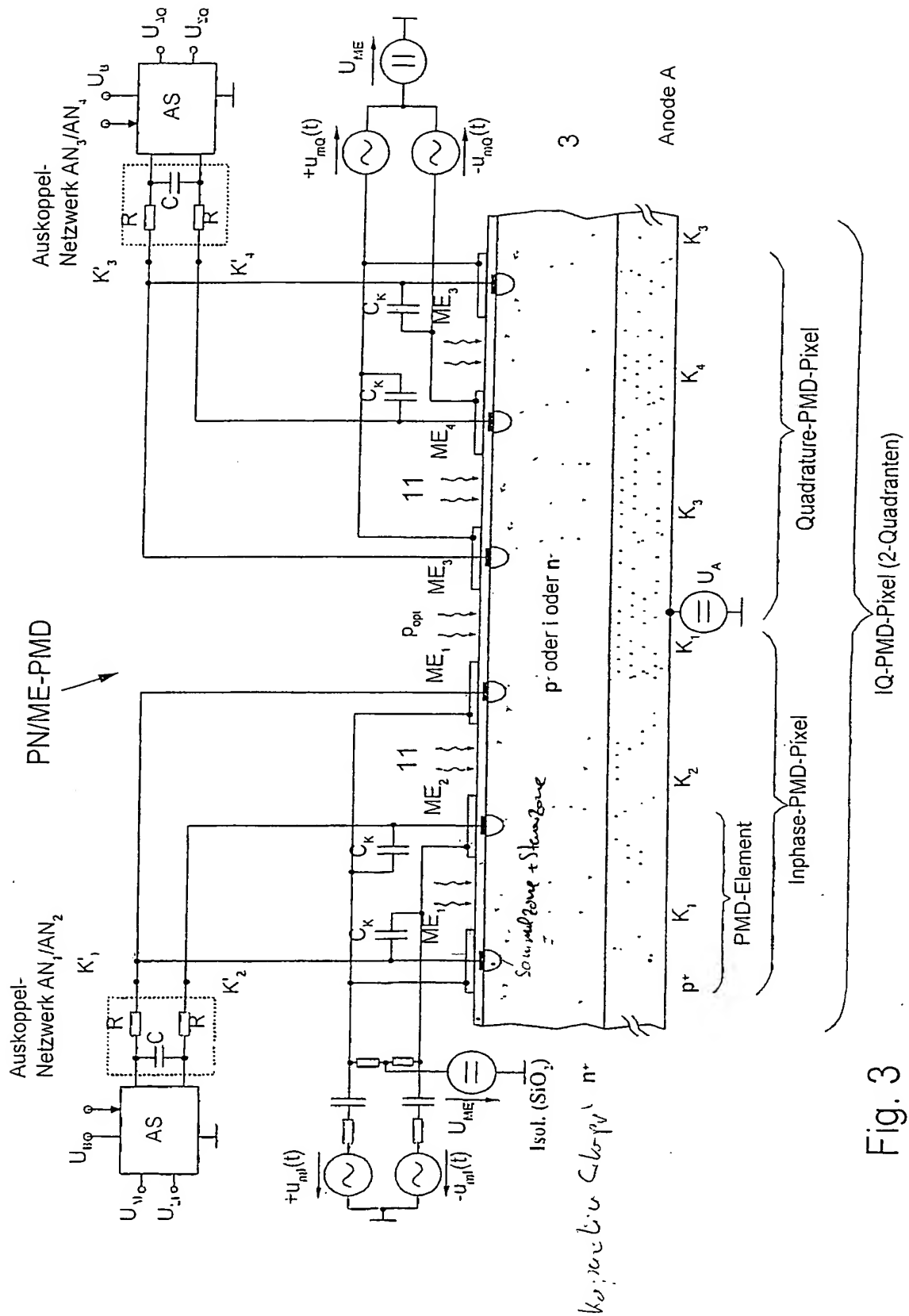


Fig. 3

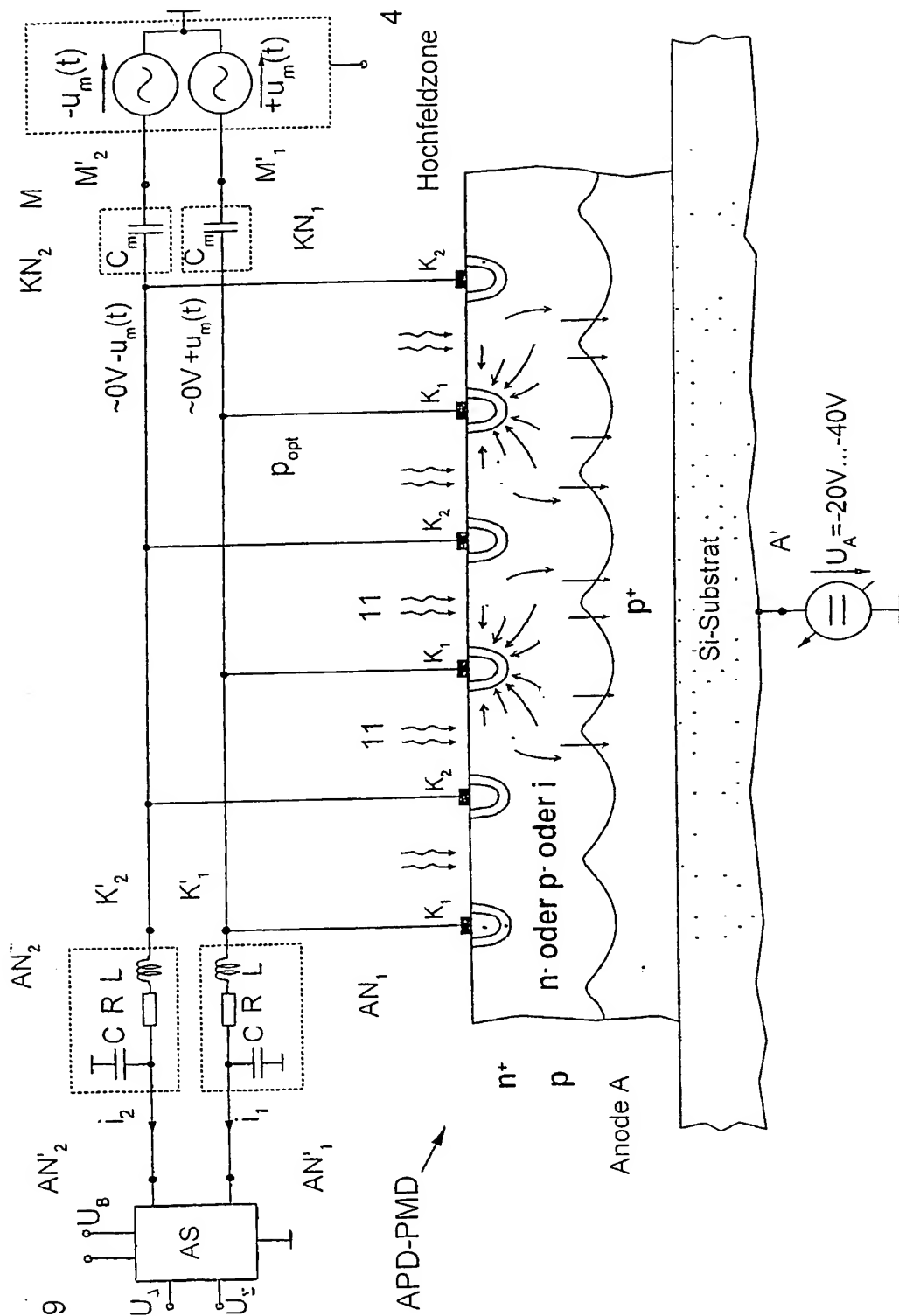


Fig. 4

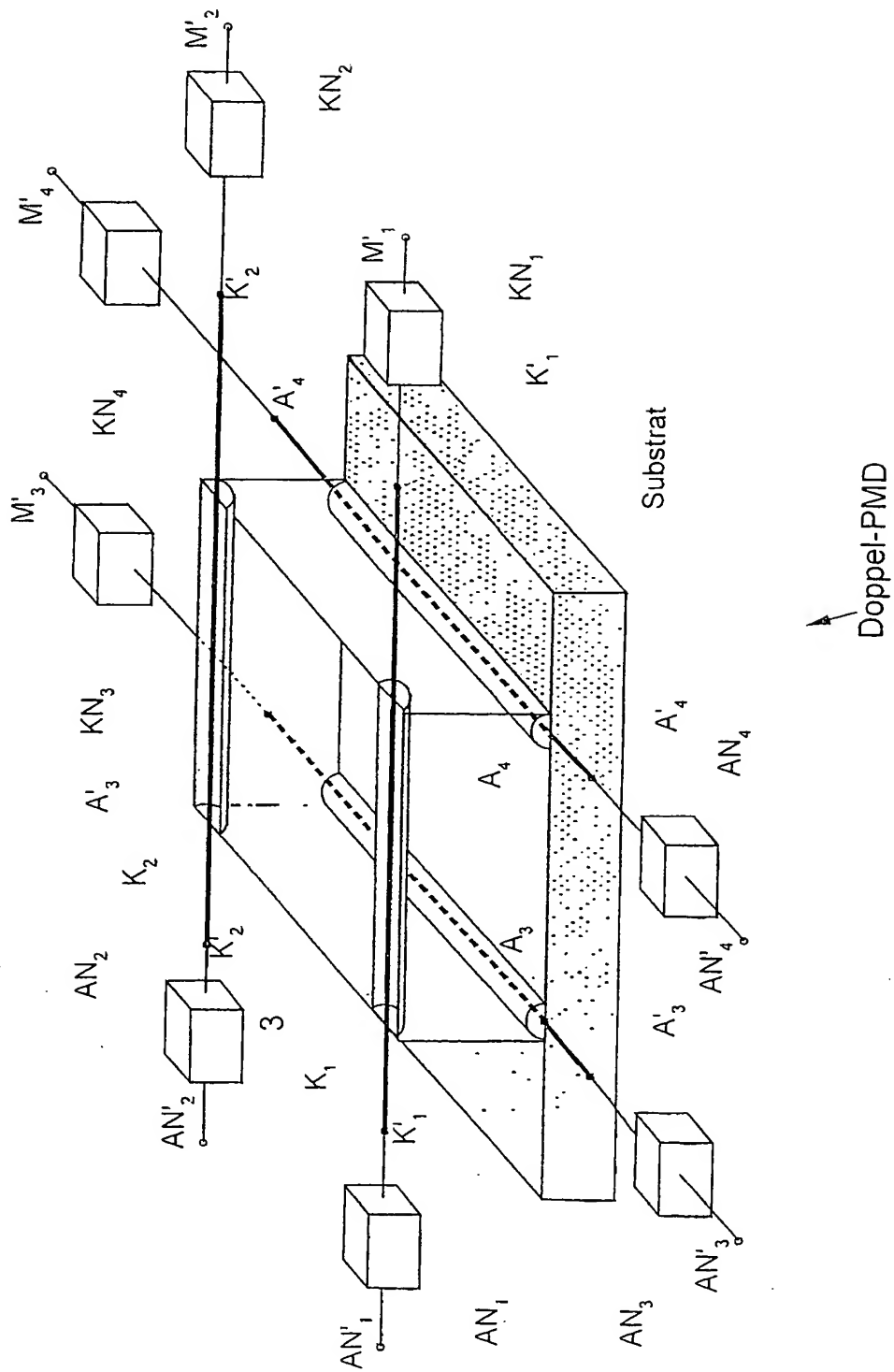


Fig. 5

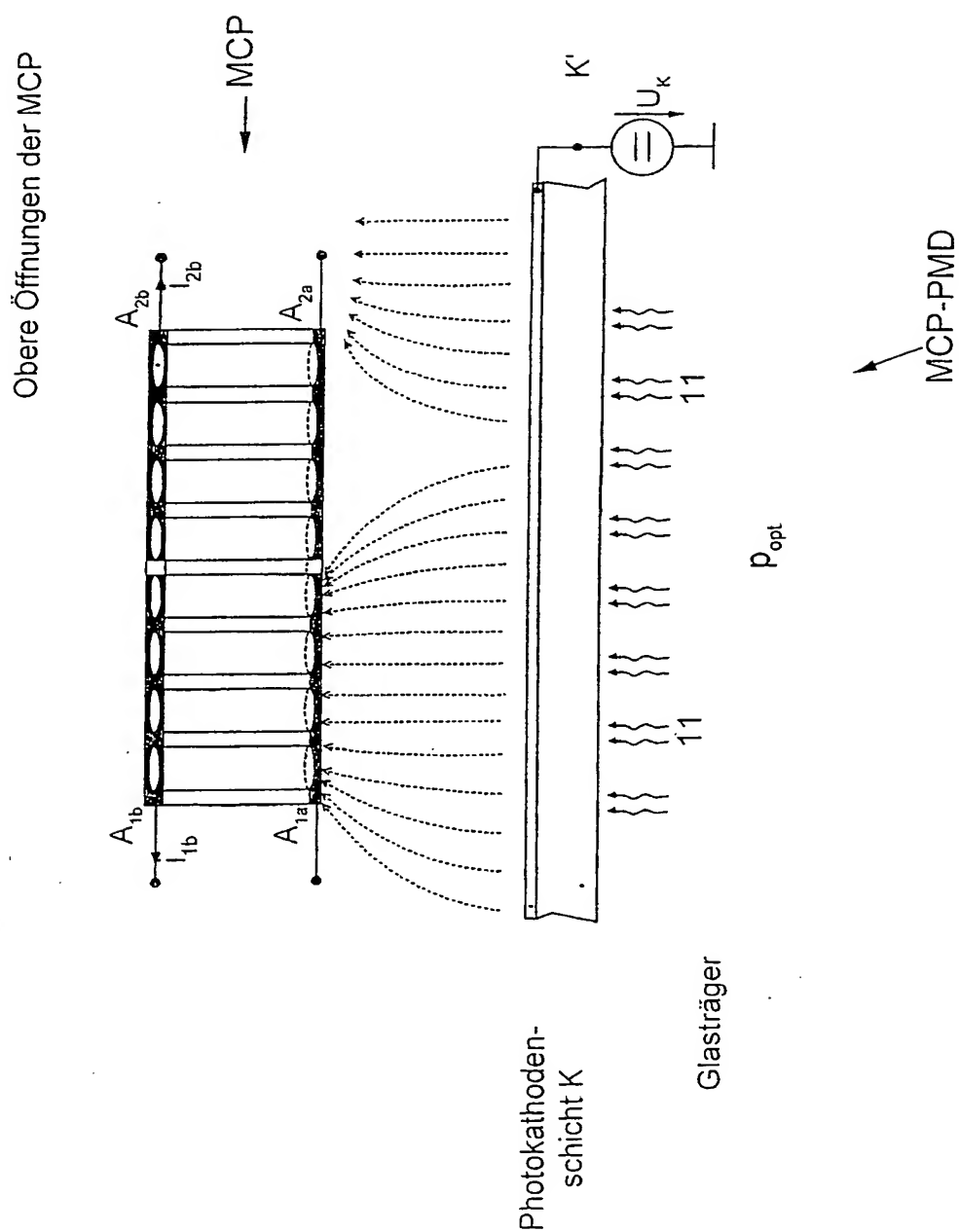


Fig. 6

7/9

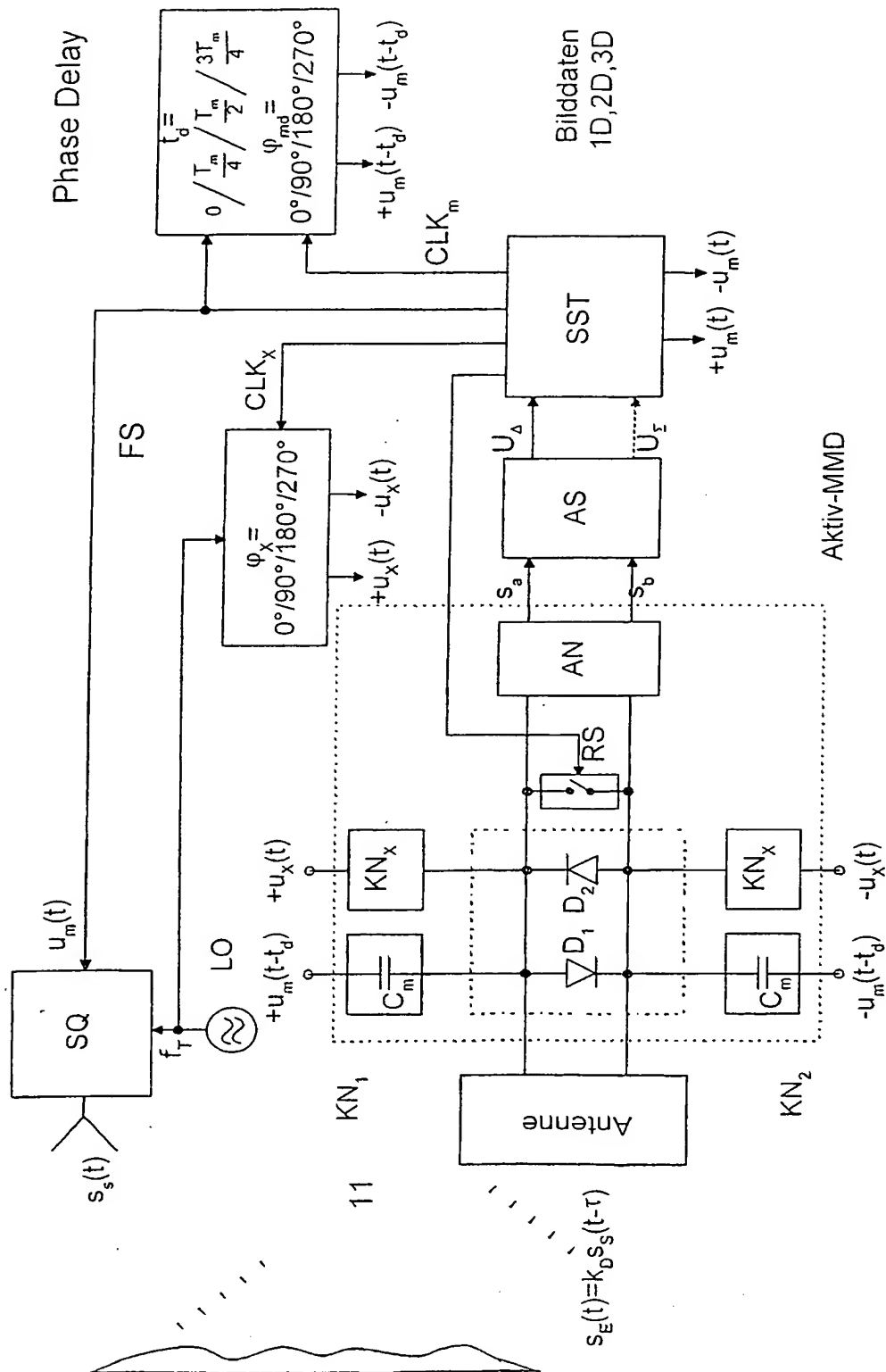
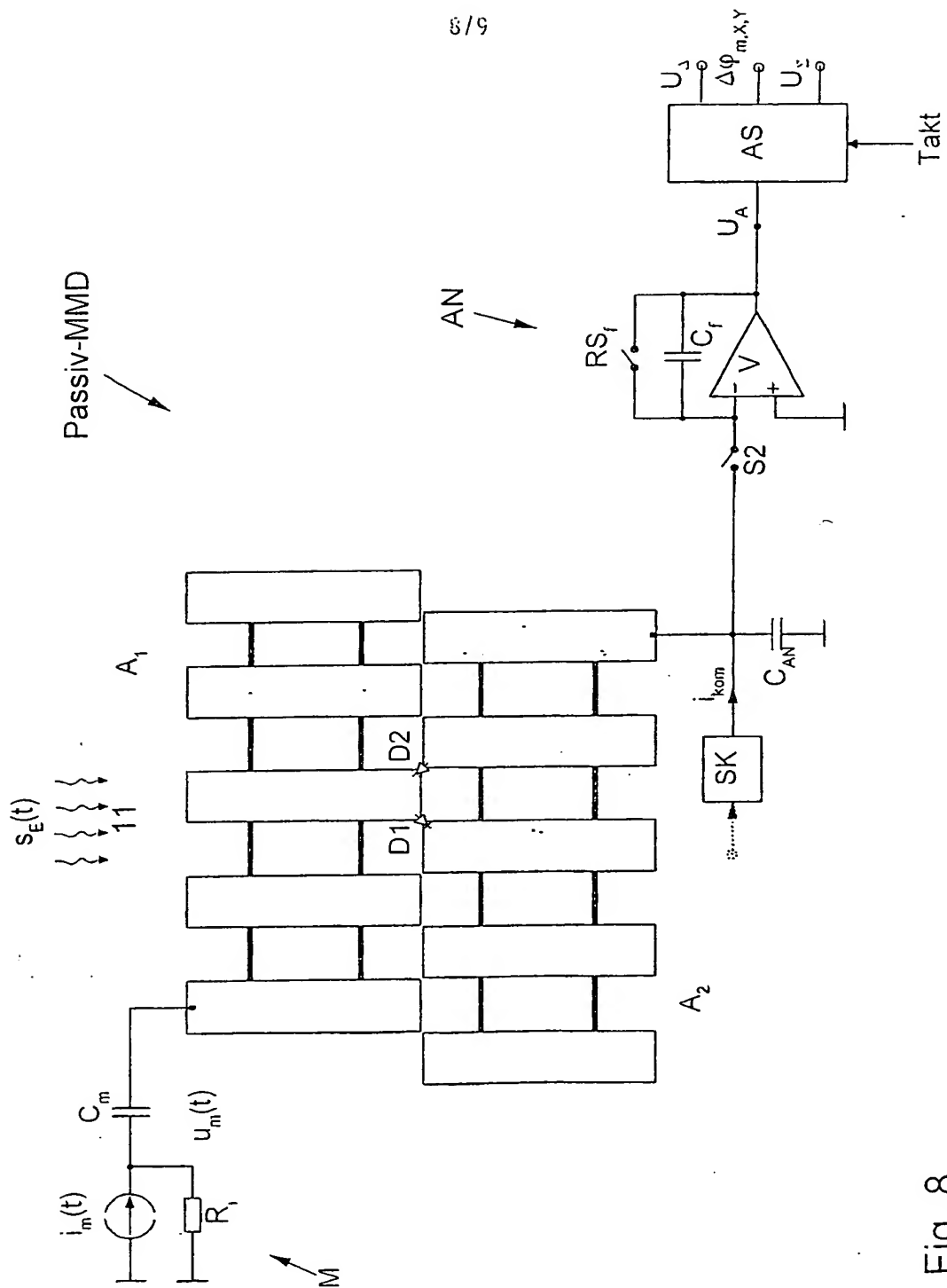


Fig. 7



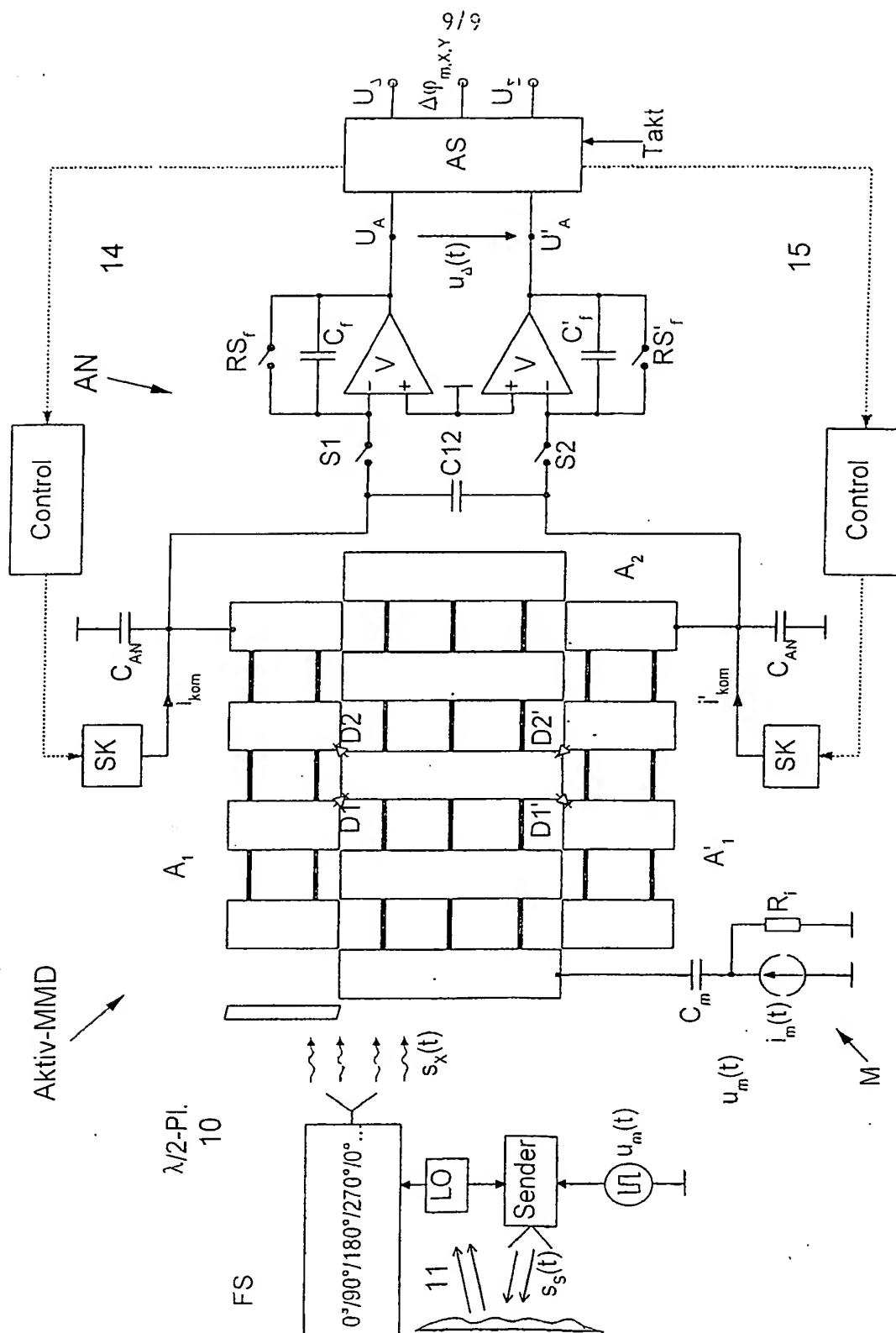


Fig. 9

THIS PAGE BLANK (USPTO)